

# Görünmezlik Teknolojileri: Radar Kesit Alanı Nedir?

## Görünmezlik Teknolojilerinin Hedefi

**M**UHAREBE sahasında düşman kuvvetler tarafından geç tespit edilmek ve hatta mümkünse hiç tespit edilememek doğal bir üstünlük sağlar. Görünmezlik [stealth] teknolojilerinin temel hedefi bu üstünlüğü elde etmektir. İngilizce'deki 'stealth' kelimesine tam karşılık gelen Türkçe bir kelime bulunmamakla birlikte genel olarak 'görünmezlik' olarak tercüme edilmektedir. Burada görünmezlikten kasıt, gözetleme yapan birimlerin sensörlerinde alarm oluşturacak seviyede bir tespiti sebep olmamaktır. Örneğin optik sensörler söz konusuysa görünmezlik, ortama uyum sağlayarak ayrı bir nesne olarak seçilmeyi güçleştirmek manasına gelir ki bu da kamuflajı tanımlar. Ancak radar ve sonar gibi kendi yolladığı sinyalin ekolarına göre tespit yapan aktif sensörlere karşı görünmezlik ancak bu sensörlere kendi sinyallerini geri yansıtmayarak mümkündür. Aktif sensörlerde mutlak anlamda görünmezliğin sağlanması mümkün değildir.

Bunun sebebi, en küçük cisimlerin bile sensöre yeterince yaklaştıklarında mutlaka tespit edilebilmeleridir. Dolayısıyla, radara karşı görünmezlik teknolojisinin maksadı mutlak görünmezliği sağlamaktan çok hedef cismin bir radar tarafından tespit edilme mesafesinin kısaltılmasıdır. Diğer bir anlatımla bir cismi olduğundan küçük göstermektir. Buradaki büyüklük veya küçüklüğün tanımı metre-kare cinsinden ölçülen Radar Kesit Alanı [RKA/RCS] ile belirtilir.

Bu yazının amacı,

- RKA hakkında temel tanım ve özellikleri vermek,
- RKA'nın bağlı olduğu parametreleri belirtmek,
- görünmezlik teknolojileri kapsamında RKA ile ilgili yapılmış çalışmalara değinmek,

- Bir cismin RKA değerinin hesaplanmasında kullanılabilecek teknikleri [kısıtları ve avantajları ile] tanıtmak ve
- RKA değerinin azaltılması için uygulanan yöntemler hakkında bilgi vermektir.

## RKA Nedir?

Radar Kesit Alanı, bir cismin veya platformun bir radardaki görünürlük miktarı veya elektromanyetik [EM] dalgalar olan radar sinyallerini yansıtma miktarı olarak tanımlanabilir. Bir cismin belirli bir radar ile bakıldığında hangi menzilde görülebilir olduğunu belirlemeye yarayan denkleme 'radar denklemi' veya 'menzil denklemi' denir. Bu denklemin içinde radar sistemine ait 'anten kazancı' ve 'sistem gürültüsü' gibi parametreler ve elektromanyetik dalgaların içinden geçtikleri ortama ait 'yol uzunlukları' ve 'yağmur kayıpları' gibi parametreler vardır. Bu parametrelerin yanında, hedefin özelliği olarak sadece RKA [İng. Radar Cross-Section, RCS] yer almaktadır. RKA, kullanılan radarın özelliklerinden ve içinde bulunduğu ortamdan bağımsız bir parametredir ve sadece hedefin geometrik özellikleri [şekli] ve yapıldığı malzemenin bir fonksiyonudur. Elektromanyetik dalgalar incelenirken tüm boyutlar 'dalga boyu' ile oranlanarak ölçülürler. Dolayısıyla, RKA analizlerinde cismin geometrik özellikleri de dalga boyu cinsinden ifade edilir. Dalga boyu,

$$\text{dalga boyu} = \lambda = \frac{\text{ışık hızı}}{\text{frekans}} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

formülüyle tanımlandığı için RKA doğal olarak kullanılan radar frekansına da bağlı olarak değişir.

RKA'nın tanımı 'cisimden gelen sinyalin cisme yollanan sinyale oranı' değildir. Eğer tanım böyle olsaydı hem RKA değerleri daıma 'bir'den küçük olur, hem de birimi metre-kare olmazdı. RKA'nın tanımı biraz daha karmaşıktır. Bunun için RKA tanımını geniş bir



*Radarda görünmezlik teknolojisi bugün savunma sanayinin vazgeçilmezlerinden biri haline gelmiş ve kendisine hava, kara, deniz ve denizaltı platformlarında yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Üstte B-2 stratejik bombardıman uçağı, yanda ise Sea Shadow gemisi görülüyor [Fotoğraflar: S&H Arşivi].*

şekilde açıklayalım. Öncelikle bilinmelidir ki RKA'nın tanımı, radar alıcısına cisimden geri gelen EM dalganın gücü cinsinden yapılır. Radar alıcısında hedefin [şeklinin ve malzemesinin] ne olduğu hakkında bir bilgi bulunmadığı için, hedeften gelen enerjinin her yönde aynı miktarda yayıldığı varsayılır. Açıkça yanlış olan bu varsayım sebebiyle çok ufak cisimlerin binlerce metrekarelik RKA değerlerine sahip olduğu veya çok büyük cisimlerin bir kuşun yüzey kesidinden daha küçük RKA değerinin olduğu durumlar ortaya çıkar. Bunun sebebini anlamak için ufak bir cismin, üzerine gelen EM dalgasının enerjisinin çoğunu alıcıya doğru yansıttığını varsayalım. Doğal olarak bu cismin diğer yönlerde yansıttığı EM enerji alıcıya doğru yansıttığından çok daha az olacaktır. Fakat alıcıda bulunan kişi, kendisine göre çok parlak görünen bu hedefin her yönde eşit miktarda enerji yaydığını varsaymak zorundadır. Bu durumda 'bu hedeften çıkan EM güç [ $P_s$ ] nedir?' sorusunun cevabı da 'çok büyük bir değer' olacaktır. Güç ifade ettiği için  $P_s$ 'nin birimi Watt olmalıdır. Radardaki temel prensip, hedefin kendi yaptığı ışımanın değil, hedefe bir verici ile yollanan sinyalin yansımalarının algılanmasıdır. Bu yüzden hedefin etrafa yaydığı  $P_s$  gücünün hepsini, üzerine gelen EM dalgadan temin etmesi gereklidir. Cismin üzerine gelen EM dalganın şiddeti, metrekare başına taşıdığı güç ile, yani Watt/m<sup>2</sup> cinsinden güç yoğunluğu [ $S_i$ ] ile ifade edilir. İşte, RKA'nın tanımı da  $P_s$  ile  $S_i$ 'nin oranlarından bulunur. Yani, 'Cismin RKA değeri nedir?' sorusunun cevabı 'üzerine gelen  $S_i$  yoğunluğundaki EM dalgadan  $P_s$  gücünü elde etmek için kaç m<sup>2</sup> olması gerekiyorsa, cismin RKA değeri odur' olur. Formül ile

$$\sigma = \frac{P_s}{S_i} \left[ \frac{\text{Watt}}{\text{Watt/m}^2} = \text{m}^2 \right]$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu tanımda, hedefin etrafa yaydığı güç, bu hedeften  $R$  metre uzaktaki alıcının algıladığı güç yoğunluğu [ $S_i$ ] cinsinden bilinebilir. EM enerji bir küre yüzeyinde yayıldığından  $P_s$  gücüyle ışılan kaynağın  $R$  mesafesinde oluşturacağı güç yoğunluğu

$$S_i = \frac{P_s}{4\pi R^2}$$

olacaktır. Bu ifadeden  $P_s$  çekilerek RKA tanımına konulursa [ $R$ 'nin çok büyük olduğu varsayımıyla] RKA'nın standart tanımına ulaşılır [1]:

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{S_i}{P_s}$$

### RKA'nın Birimi Nedir?

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı üzere RKA'nın birimi metrekare [m<sup>2</sup>] dir. Fakat bir cismin değişik açılardaki RKA değeri 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> ile 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup> arasında değişim gösterebilmektedir. Bu kadar geniş aralıktaki RKA değerlerini aynı grafik üzerinde göstermek zor olduğu için RKA ölçümlerinde genellikle logaritmik bir ölçekle gösterilen 'desibel metrekare' [dBm<sup>2</sup>] veya İngilizce 'decibel square-meter' teriminin kısaltması olan 'dBsm' birimi kullanılır. Metrekare ile dBsm cinsinden RKA değerlerinin arasında

$$\sigma_{dB} = 10 \log_{10}(\sigma)$$

$$\sigma = 10^{(0.1 \times \sigma_{dB})}$$

formülleri ile geçiş sağlanabilir. RKA değerinin hangi limitler arasında nasıl bir değişim göstereceğine iyi bir örnek olarak kenar uzunluğu 25cm olan metal bir kare plakanın X-bandında açığa bağlı olarak RKA grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Eğer bu şekil dBsm yerine m<sup>2</sup> ölçeğinde verilmiş olsaydı pek bir bilgi içeremezdi.

### RKA ile İlgili Bazı Bilgiler

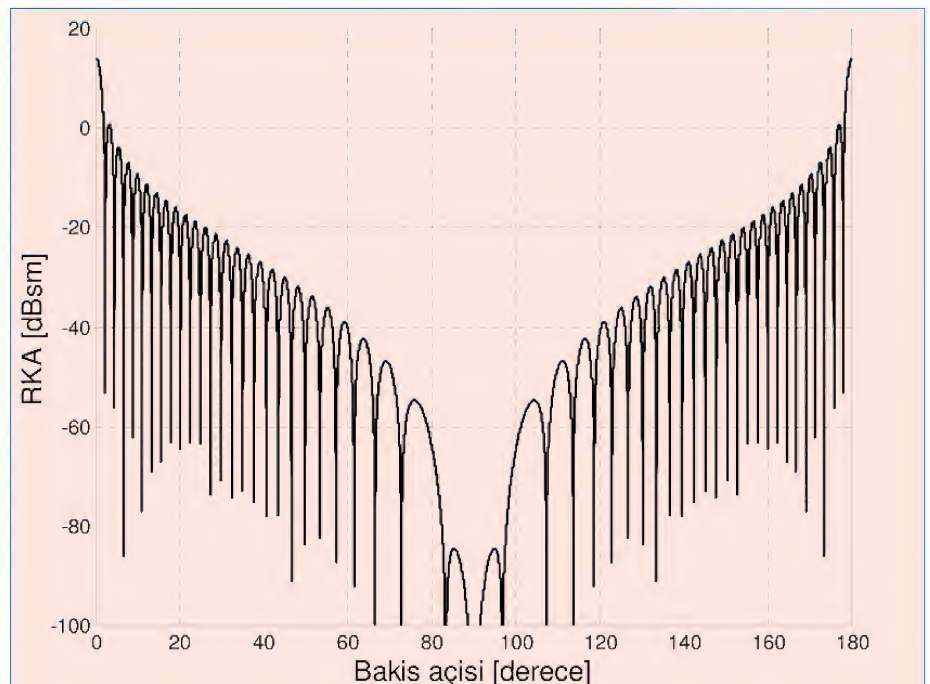
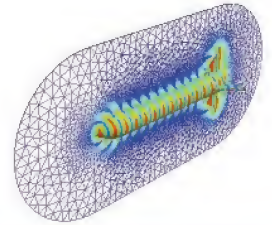
#### RKA'nın Açısal Bağımlılığı

Bir cismin RKA değerinin açısal bağımlılığı Şekil 1'deki örnekte de gözüktüğü üzere pek çok tepe ve sıfır değerine sahip bir yapıdadır. Düzensiz aralıklarla gözlenen bu tepe ve sıfır değerler, genellikle bir zarf eğrisi ile sınırlanırlar. Genel bir kural olarak herhangi bir düzlemde yapılan 90°'lik bir tarama içeri-

sinde RKA değeri, cisim o düzlemde kaç dalgaboyu büyüklükteyse o kadar tane tepe değerine ulaşır. RKA değerinin çok hızlı değiştiği bilindiği için ölçümlerde genellikle açısal veya zamansal ortalamalar alınır ve cismin RKA değeri bu ortalama olarak kabul edilir. Geliştirilen bir platformun analizinde ise hedeflenen RKA değeri elde edilen en yüksek RKA değeri olarak alınır. RKA değerinin açıyla çok hızlı değişim göstermesinin getirdiği bir başka sıkıntı da hesaplamaların yapılacağı açıdaki RKA değeri birkaç miliradyan sonra 20-30 dBsm artabilir veya azalabilir. Tüm tepe değerlerini yakalamak için yapılacak miliradyan bazında bir açısal tarama ise mevcut hesaplama gücünün çok ötesindedir. Ancak bu konuda geliştirilmiş bazı teknolojiler vardır. Bu teknolojilerden ilerideki bölümlerde bahsedilecektir.

#### RKA'nın Frekans Bağımlılığı

Elektromanyetik dalgaların cisimlerden yansımaları sırasında değişik fizik olayları devreye girebilir. Basit yansımanın [reflection] haricinde kırınım [refraction] ve kırınım [diffraction] da oluşabilir ve bunlar da RKA değerini etkileyebilir. Basit yansımada RKA değeri frekans ile doğru orantılı olarak artış gösterirken kırınımın hesaba katıldığı durumlarda kırınımın tipine [kenar kırınımı, köşe kırınımı] ve polarizasyon durumu na göre  $f^{1.5}$  ile  $f^2$  arasında değişim gösteren RKA davranışlarına rastlanabilir.



Şekil 1 Kenarı 0,25 m olan metal kare bir plakanın X-bandındaki RKA değerinin açığa göre değişimi.



### Çoklu Yansıma ve Gölgeleme Etkileri

Mikrodalga frekanslarındaki elektromanyetik dalgalar da ışık ile benzer özellikler gösterirler. Bu özelliklerinden dolayı değişik parçalardan oluşmuş cisimlerin RKA değerleri hesaplanırken parçaların birbiri üzerine etkileri önem kazanır. Bu etkiler, genellikle gölgeleme ve çoklu yansıma başlıkları altında incelenir. Gölgeleme etkisi [adından da anlaşılacağı üzere] cismin önde kalan kısmının diğer kısımların EM dalga ile aydınlanmasına engel olması durumudur. Bu etki yüzünden RKA'nın açığa bağlı davranışı büyük değişimler gösterebilir. Çoklu yansıma etkisi ise genellikle RKA değerini artırıcı bir özelliğe sahiptir. Buna iyi bir örnek, birbirine dik konulmuş 3 ayna yüzeyinin üzerine gelen ışığı da ima geri yansıtmasıdır. Ancak bir EM dalganın radar ekosuna katkısı, [yüzey malzemesine bağlı olmakla birlikte] genellikle 5-6 yüzeyden yansdıktan sonra ihmal edilebilir seviyelere düşer. Bu yüzden çoklu yansıma katkısının hesaplamasında dikkatli olunmazsa gereksiz bir işlem yükü oluşturulabilir.

### Saçılma Merkezi Kavramı

RKA değeri sadece metrekaire cinsinden bir ölçüdür. Fakat tasarımcılar, RKA değerinin yüksek çıkmasına sebep olan platform bölgeleri hakkında da bilgi sahibi olmak isterler. Bu ihtiyaç, ölçüm ortamlarında cismin Senteetik Açıklımlı Radar [*Synthetic Aperture Radar, SAR*] görüntülerinin çıkarılmasıyla gerçekleştirilmektedir. RKA hesaplamaları sırasında da 'anlık Doppler yaklaşımı' gibi teknikler kullanılarak RKA değeri kestirilen platformun SAR görüntüleri oluşturulabilir. Bu görüntülerde cismin kuvvetli yansımaya sebep olan kısımları belirgin haldedir. Bu kuvvetli yansıma kısımları 'saçılma merkezleri [*scattering centers*]' veya 'sıcak noktalar [*hot spots*]' olarak da anılır [2]. Doğru kullanıldığı takdirde, bir açı [ $\theta_0$ ] ve frekansta [ $f_0$ ] yapılan saçılma merkezi analizi neticesinde elde edilen sonuçlardan, cismin  $\theta_0 \pm \Delta\theta$  ve  $f_0 \pm \Delta f$  açı ve frekans bölgelerindeki RKA değerlerini belli bir hassasiyetle tahmin etmek mümkün olmaktadır. Bu da yukarıda 'açısal bağımlılık' başlığı altında belirtildiği üzere tepe RKA değerlerini kaçırmamak için miliradyan adımlarla açısal tarama yapma kısıtının üstesinden gelinmesini sağlar.

### Polarizasyonun etkileri

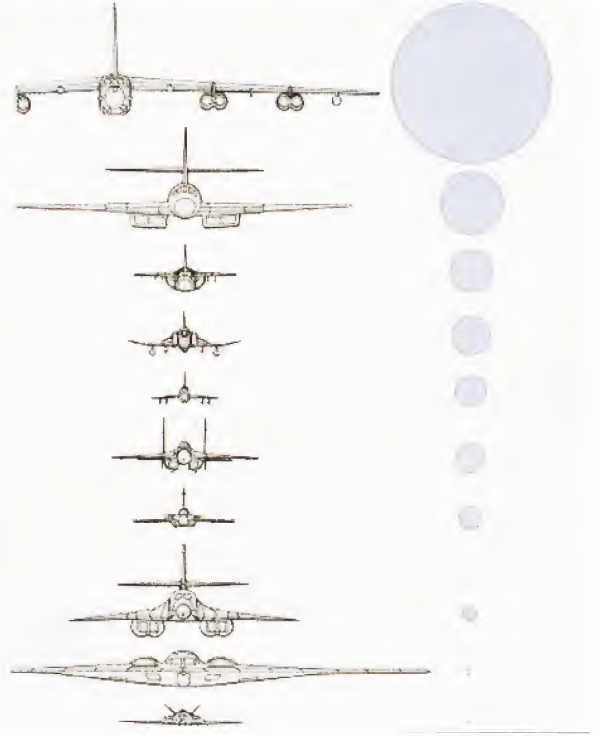
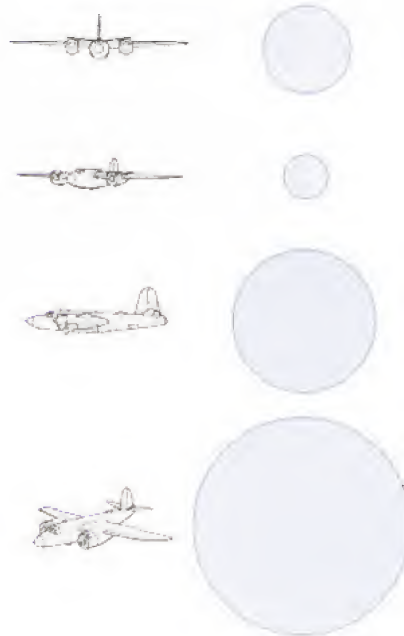
Elektromanyetik dalgalar sadece gidiş yönü ile tanımlanamazlar. Bir EM dalganın tam olarak tanımlanması için elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin hangi doğrultuda olduğunu da belirtilmesi lazımdır. Doğrusal, sağak veya solak dairesel, eliptik gibi pek çok polarizasyon çeşitleri vardır. Fakat bu polarizasyonların hepsi 'yatay' ve 'düşey' polarizasyon

olarak adlandırılan iki polarizasyonun bileşkesi olarak elde edilebilirler. Dolayısıyla RKA analizlerinde bu iki polarizasyon için analizlerin yapılması yeterlidir. Bununla birlikte polarizasyon hem cismin üzerine gelen dalganın hem de cisimden yansıyan dalganın özelliğidir. Yani bir cismi sadece yatay polarizasyonla aydınlattığınız halde geriye hem yatay hem de düşey polarizasyonda dalgalar yansıyabilir. Bu özellik, bir cismin sadece bir RKA değeri yerine 2x2'lik bir RKA matrisiyle gösterilmesini gerektirir [3]. Bu matris, RKA tanımını için kullandığımız ilk denkleme özdeş olarak

$$\begin{bmatrix} P_D^s \\ P_Y^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{DD} & \sigma_{DY} \\ \sigma_{YD} & \sigma_{YY} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_D^i \\ S_Y^i \end{bmatrix}$$

Yansıyan güç      Saçılma (RKA) matrisi      Gelen güç yoğunluğu

şeklinde ifade edilebilir. Polarimetrik radar kullanılarak RKA matrisinin tüm elemanlarının ölçülmesi ve elde edilen RKA matrisinden platformların teşhis edilmesi üzerine 1980'lerden beri pek çok çalışma yapılmıştır. Ancak,



teşhis için bu yöntemin diğer yöntemlere üstünlüğü net olarak kanıtlanamamıştır. RKA hesabında kullanılan fiziksel optik gibi bazı tekniklerin polarizasyon değişimini hesaplamayacağı bilinmelidir.

### RKA ile İlgili Çalışmalar

Yukarıda da ifade edildiği üzere, bir cismin RKA değeri, radarın o cisme bakış açısına ve frekansına göre değişir. Silahlı kuvvetlere ait gemi, uçak, güdümlü mermi gibi platformların RKA değerlerinin düşük olması, bu platformların düşman radarları tarafından daha yakın menzilde görülmesini sağlar veya arka plandaki gürültü [veya kargaşa] arasında seçilmesini zorlaştırır. Dolayısıyla düşük RKA değerine sahip olan platformlara karşı tedbir geliştirme süresi kısa olur ve bu platformların saldırı kabiliyetleri artar. Bu sebepten, silahlı kuvvetler tarafından kullanılan platformların RKA değerlerini düşürmek için gelişmiş ülkelerde pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak iki grupta toplanabilir. Birincisi, platformların tasarımları ve geliştirmeleri sürecinde geometrik şekilleri ile oynanarak RKA azaltımı sağlanmasıdır. ABD Hava Kuvvetleri [USAF] envanterindeki F-117 ve B-2 uçaklarının ve yeni nesil hücumbotların alışılmışın dışındaki görünüşleri radar sinyallerini geri yansıtılmak üzere yapılmış çalışmaların eseridir. Geometrik tasarım faaliyeti envanterde bulunan platformlar için uygun bir yöntem değildir. RKA azaltıcı çalışmaların ikincisi, radar soğurucu malzeme [RSM; *Radar Absorbing Material, RAM*] ile platformların yüksek RKA'ya sebep olan kısımlarının boyanmasıdır. Bu faaliyetin temel kısıtları olarak uygun RSM teknolojilerinin geliştiril-



mesi ve tatbik edilen platformların şartlarına uygun hale getirilmesi [Ör: hava platformları için yüksek hızlardaki sürtünmeye ve yağmur erozyonuna karşı; deniz platformları için nem ve tuzluluğa karşı dayanımının sağlanması] düşünülebilir. Ayrıca platform üzerinde hangi bölgelere RSM tatbik edileceğinin bulunması da başlı başına bir problemdir. RKA düşürmeye yönelik iki faaliyet de sadece denemeler ve doğrudan RKA ölçümleriyle yürütülürse hem zaman, hem de maliyet olarak çok yüksek bedeller gerektirebilir. Ancak, bu iki faaliyette de gerçek platformlar üzerinde denemelerin yapılmasından önce bir yazılım ile bilgisayar ortamında tanımları yapılmış olan platformların RKA değerlerinin hesaplanması ve ön tasarımların simülasyon ortamında tamamlanması zaman ve maliyet olarak büyük tasarruf sağlar.

RKA değerini kestiren bir yazılımdan elde edilebilecek yararlar sadece yukarıda belirtilen RKA değerini düşürmeye yönelik çalışmalarla sınırlı değildir. Mevcut [ve değiştirilemez] platformların RKA değerlerinin belirli frekanstaki bir radara gösterilen açıya bağlı olarak bilinmesi, özellikle güdümlü mermilere karşı yapılacak manevraların oluşturulmasında ve chaff gibi yardımcı tedbirlerin etkin kullanımında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Ayrıca düşman kuvvetlerine ait platformların ve teçhizatın RKA değerlerinin kaba da olsa tahmin edilebilmesi bunlara karşı geliştirilecek savunma doktrinlerinin oluşturulması için gereklidir. Bu amaçlara hizmet edebilecek RKA kestirim yazılımları çeşitli ülkeler tarafından geliştirilmiştir ve satılmaktadır. Ancak ülkelerin yüksek dereceli gizli bilgi olarak sakladıkları platform RKA değerlerini hesaplamaya yarayan bu yazılımların satışa sunulmuş olması düşündürücüdür.

RKA kestirme yazılımları ile ilgili son bir nokta da bu yazılımların bir uzman tarafından kullanılması gerektiğidir. Yukarıda, RKA ile ilgili verilen bilgilerden, yapılan analizlerden

istenilen yararların elde edilebilmesi için yazılımın kullandığı tekniklerden ve bu tekniklerin kısıtlarından haberdar olan, doğru kullanım seçimleri ile analizleri gerçekleştiren ve elde edilen sonuçları doğru şekilde yorumlayabilen bir uzmanın bu analizleri yapması gerekliliği açıkça görülmektedir. İleride de bahsedileceği üzere RKA hesaplamalarında her zaman tam sonucu kısa sürede verebilen bir yöntem mevcut değildir. Bu yüzden duruma göre kullanılması gereken yöntemler de değişiklik göstermektedir. Eğer kullanılacak yöntem doğru bir şekilde seçilmezse büyük vakit kayıplarına ve [daha önemlisi] hata olasılığı yüksek sonuçlara sebep olabilir.

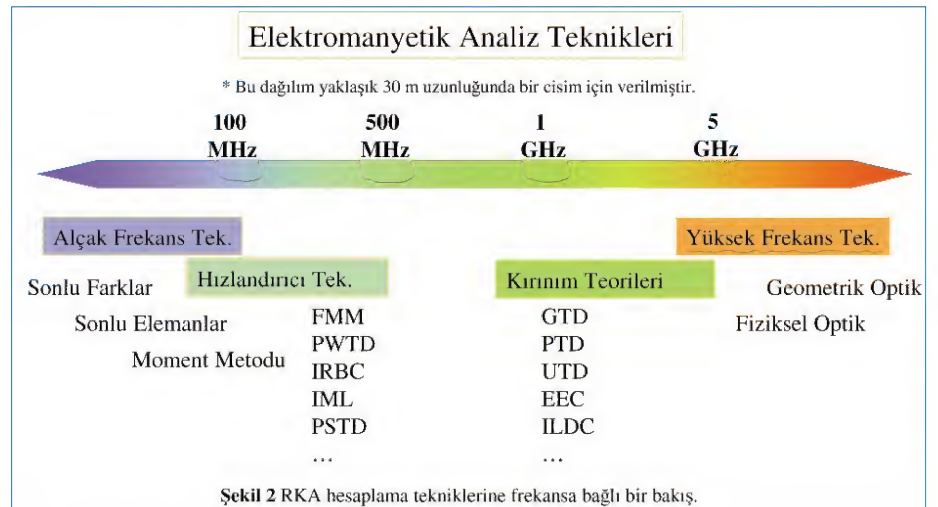
### RKA Hesaplama Yöntemleri

İkinci dünya savaşından itibaren cisimlerin RKA değerlerini hesaplamak için pek çok yöntem önerilmiştir [4]. Geliştirilen ilk tekniklerde mikrodalga frekanslardaki elektromanyetik dalganın optik kurallarına uyduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımlarda elektromanyetik dalganın cisimle etkileşmesi modellenirken kırınım [diffraction] etkileri tamamen ihmal edilmiştir. Bu yüzden 'fiziksel optik' ve 'geometrik optik' gibi yaklaşımlar, elektroman-

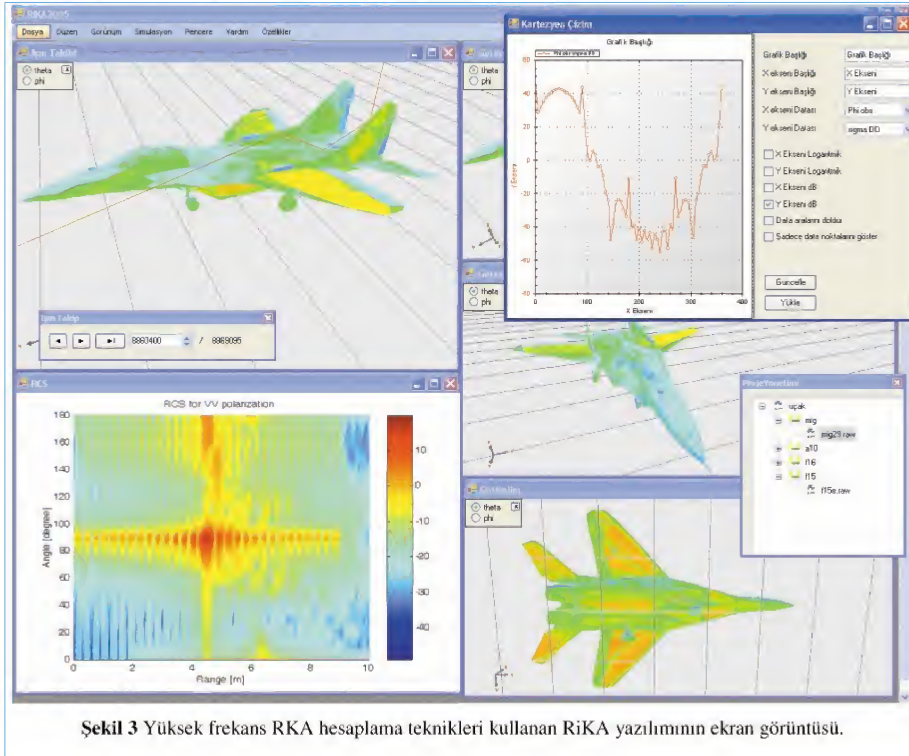
yetik dalganın etkileşimde bulunduğu cismin yüzeyinde keskin kenarlar ve köşeler bulunmadığı durumlarda oldukça iyi tahmin değerleri vermektedir. Ancak keskin kenarların bulunduğu durumlarda kırınım etkilerini ihmal eden yöntemlerle yapılan tahminler yüksek hata payına sahip olurlar. Optik yöntemlerin hata payı, cismin şekline bağlı olduğu için de tam bir analiz yapılmadan hata miktarı belirlenememektedir.

'80lerden itibaren bilgisayarların işlem kapasitesinde hızlı bir artış yaşanmıştır. Bu artışa paralel olarak RKA hesabında kullanılan yaklaşımları azaltan yöntemler de geliştirilmiştir. '80 sonrası dönemdeki RKA hesaplama tekniklerini iki temel gruba ayırmak mümkündür: Optik tabanlı yaklaşımlarla çalışan yüksek frekans teknikleri ve elektromanyetik problemi tam olarak çözme hedefleyen alçak frekans teknikleri. Şekil 2'de 30 metre uzunluğundaki bir cisim için bu iki tekniğin RKA hesabında kullanılabileceği frekans bölgeleri gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere 'fiziksel optik' ve 'geometrik optik' gibi yüksek frekans teknikleri mikrodalga radarların çalıştığı 2 GHz'in altındaki frekans bandını tam olarak kaplayamamaktadırlar. Buna karşın 'sonlu farklar [finite difference]', 'sonlu elemanlar [finite element]' ve 'moment metodu [method of moments]' gibi alçak frekans teknikleri ile GHz bandında çözüm üretmek mümkün değildir. Ancak hem alçak frekans, hem de yüksek frekans tekniklerinin eksik olduğu yönlerini telafi etmek üzere pek çok yöntem geliştirilmektedir [5]. Geliştirilen bu tekniklerle birlikte günümüz hesaplama yöntemleri değerlendirildiğinde mikrodalga radar frekanslarında en etkin çözümün kırınım teorileriyle desteklenmiş yüksek frekans tekniklerinin olduğu görülmektedir. Bu sonuç kesinlikle alçak frekans tekniklerinin gereksiz olduğu olarak yorumlanamaz çünkü yüksek frekans teknikleri daima EM dalganın davranışı hakkında belirli varsayımlarla çalışırlar ve bu varsayımlar daima [mertebesi tahmin edilemeyen] hatalar







Şekil 3 Yüksek frekans RKA hesaplama teknikleri kullanan RiKA yazılımının ekran görüntüsü.

üretebilirler. Fakat alçak frekans teknikleri temelinde hiçbir teorik kısıtlama getirilmeden cisim ile EM dalganın etkileşimini modellerler ve ortaya çıkan hata seviyesi genellikle mühendislik yaklaşımlarının gerektirdiğinin çok altında kalır.

Son yıllarda ülkemizde hem alçak frekans hem de yüksek frekans teknikleri konusunda bir çok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmaların bir kısmına URSI [Union of Radio Science International] Türkiye kolu tarafından '02, '04 ve '06 yıllarında düzenlenmiş olan ulusal sempozyumların kitapçıklarından ulaşılabılır. Yüksek frekans teknikleri kullanan yerli yazılımlardan birine örnek olarak C2Tech firması tarafından geliştirilen RiKA yazılımı gösterilebilir [Bkz. Şekil 3].

### Hesaplama Gücünün ve Tekniğinin Önemi

Kullanılan tekniğin ve gerekli görülen hesaplama gücünün önemi, bir örnek ile şu şekilde ifade edilebilir: Saçılma merkezleri gibi özel teknikler kullanılmadığı takdirde, tam bir RKA analizi için bir dereceden daha sık aralıklarla analiz gerçekleştirilmelidir. [Aslında bu iyimser bir yaklaşımdır çünkü Şekil 2'den de görüldüğü üzere 25cm büyüklüğündeki küçük bir cisim için bile 1 derece aralıkla yapılacak analiz neticesinde bazı tepe değerleri hiç gözlenmeyebilir.] Eğer yanca [kerteriz, azimuth] yönünde 360 derecelik bir sektörde her derecede bir analiz yapılırsa ve bu analiz 2-18 GHz aralığında 0.5 GHz aralıklarla toplam 33 frekansta gerçekleştirilirse; toplam  $360 \times 33 = 11.880$  adet analiz gerekmektedir. Bu analizlerin her birinin ortalama 20 dakikalık bilgisayar zamanı gerektirdiği var-

sayılırsa bir platformun analizinin 237.600 dakika yani kabaca 165 gün süreceği anlaşılır. Bunun ötesinde bir hava platformu için 180 adet yükselme [elevation] açısında bu analizin tekrarlanması gerektiği de değerlendirilmelidir.

Aynı analiz, saçılma merkezlerinin kullanımı ile gerçekleştirilirse tek bakış açısından ve tek frekansta yapılacak analizlerin neticesinde yaklaşık  $\pm 3$  derecelik bir açı aralığındaki ve  $\pm 5\%$ 'lik bir frekans aralığındaki RKA değerinin değişimini de hesaplayabilecek nitelikte olacaktır. Bu yetenek ile iki önemli kazanım sağlanır: Öncelikle yukarıda kritikliği ifade edilen hesaplama yükünün azaltılması sağlanabilir. Örneğin artık sadece 60 açı ve 10 frekansta yapılacak analiz ile sadece 8.5 gün-de aynı

bilgi üretilebilir. İkinci olarak da ölçümlerle karşılaştırmaların [zarf karşılaştırması, istatistiksel parametrik gibi birden fazla yöntemle] sağlıklı bir şekilde yapılması sağlanır.

Teknik açıdan bu gibi ilerlemelere ilave olarak yapılan yazılımların paralel bilgisayarlarda çalışır biçimde geliştirilmesiyle de hesaplama gücü artırılabilir. Paralel programlama teknikleri eskiden Origin2000 veya Cray gibi özelleşmiş donanımlara ihtiyaç duyarken günümüzde birkaç masaüstü bilgisayarın bir araya getirilmesiyle oluşturulan öbekler gerekli ihtiyacı sağlamaya başlamıştır.

### Sonuç

Bu yazıda, görünmezlik teknolojileri bakımından önemli bir kavram olan radar kesit alanı veya kısa adıyla RKA'nın tanımı yapılmıştır. Bir platformun RKA değerinin frekansla, bakış açısıyla, polarizasyonla ve platformun geometrik unsurlarıyla nasıl değiştiği irdelenmiştir. Bir platformun yüksek RKA değerlerine sebep olan kısımlarının belirlenmesinde ve RKA değerlerinin hızlı bir şekilde hesaplanmasında kullanılan saçılma merkezleri de açıklanmıştır. RKA ölçümlerinin kolay olmasından dolayı RKA hesaplama tekniklerinin önemine dikkat çekilmiş ve hesaplama yöntemleri ve bunların kısıtları hakkında bilgiler verilmiştir **S&H**

### Kaynaklar

- [1] C.A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley and Sons, New York, 1989.
- [2] R. Bhalla, H. Ling, J. Moore, D.J. Andersh, S.W. Lee, J. Hughes, "3D scattering center representation of complex targets using the shooting and bouncing ray technique: A review," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 40, no: 5, pp: 30-39, 1998.
- [3] E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley, Radar Cross Section, 2nd Ed., SciTech Publishing, NC 2004.
- [4] D.C. Jenn, Radar and Laser Cross Section Engineering, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1995.
- [5] W.C.Chew, J.M. Jin, E. Michielssen and J. Song, Fast and Efficient Algorithms in Computational Electromagnetics, Artech House, Boston, 2001.



### Doç. Dr. A. Arif ERGİN

Doç. Dr. A. Arif ERGİN, lisans diplomasını 1992 yılında ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden almıştır. '92-'93 yılları arasında Aselsan'da Analog Tasarım Mühendisi olarak çalışmıştır. Yüksek Lisans ve Doktora eğitimlerini sırasıyla '95 ve '00 yıllarında University of Illinois at Urbana-Champaign'de Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde Mühendislikte Hesaplamalı Bilimler ek diplomasıyla tamamlamıştır. '00 yılında, balen görev yapmakta olduğu Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü [GYTE], Elektronik Mühendisliği bölümünde Öğretim Üyesi olmuştur. GYTE'deki görevinin yanı sıra '01-'05 yılları arasında TüBİTAK-MAM-BTE'de değişik savunma sanayi projelerinde uzman araştırmacı olarak görev yapmıştır. '02-'05 yılları arasında Deniz Harp Okulu'nda öğretim üyeliği yapmıştır. '05 yılından itibaren C2Tech [C Tech AŞ] bünyesinde Radar Kesit Alanı hesaplamaları konusunda faaliyette bulunmaktadır. Arif ERGİN, RKA ve genel olarak dalga yayılımı ile ilgili 3 kitap bölümü, 21 bilimsel araştırma makalesi ve 40'ı aşkın bilimsel tebliği imza atmıştır. Mevcut ilgi alanları, RKA hesaplama ve ölçüm teknolojileri ve Sentetik Açıklımlı Radar [SAR] görüntülerinin iyileştirilmesidir.